

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1940

141
N°

THÈSE

pour le DOCTORAT en MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

Jacques MEILLON

ANCIEN EXTERNE DES HOPITAUX DE PARIS

Né le 29 Juin 1910, à Canterets (Hautes-Pyrénées)

**De l'Utilisation
de procédés physiques nouveaux
pour
l'Examen du Larynx
et pour
l'Étude de la Phonation normale
et Pathologique**

Président : M. LEMAITRE, Professeur.

PARIS

AMEDEE LEGRAND, EDITEUR

93, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

—
1940

I. — PROFESSEURS

Anatomie	MM.
Physiologie	ROUVIERE.
Physique médicale	Léon BINET.
Chimie médicale	STROHL.
Bactériologie	OLONOVSKI.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	Robert DEBRÉ.
Pathologie et thérapeutique générales	BRUMPT.
Pathologie médicale	BAUDOUIN.
	PASTEUR-VALLÉRY-
	RADOT.
Pathologie chirurgicale	MONDOR.
Anatomie pathologique	LEROUX.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	AUBERTIN.
Hygiène et médecine préventive	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LÉVY-VALENSI.
Pathologie expérimentale et comparée	Henri BÉNARD.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	CHIRAY.
Clinique Médicale	ABRAMI.
	PIESSINGER.
	LOEPER.
	RATHERY.
Hygiène et clinique de la première enfance	LEREBOULLET.
Clinique des maladies des enfants	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	LAIGNEL-LAVASTINE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	LEMIERRE.
	CUNÉO.
Clinique chirurgicale	GOSSET.
	GRÉGOIRE.
	LENORMANT.
Clinique ophtalmologique	VELTER.
Clinique urologique	CHEVASSU.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements	JEANNIN.
	LÉVY-SOLAL.
Clinique gynécologique	MOCQUOT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	OMBREDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	HARVIER.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique	Maurice VILLARET.
Clinique de la tuberculose	TROISIÈRE.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte	MATHIEU.
Clinique de cardiologie	LAUBRY.
Clinique de neuro-chirurgie	Clovis VINCENT.
Assistance médico-sociale	N...
	HAZARD
Professeurs sans chaire	MULON.
	OLIVIER.
	SANNIÉ.
	VERNE.

II. — AGREGES EN EXERCICE

MM.	MM.
AMELINE Pathologie chirurgicale.	COSTE Pathologie médicale.
BARIÉTY Pathologie médicale.	COUVELAIRE
BERNARD (E.). Pathologie médicale.	(Roger) Urologie.
BEZANÇON (J.). Hydrologie.	DELARUE Anatomie pathologique.
BONNET Bactériologie.	DELAY Pathologie médicale.
BOULANGER Chimie.	DEGREZ (H.). Physique.
BOULIN Pathologie médicale.	DESOILLE Médecine légale.
BROUET Pathologie médicale.	DIGONNET Obstétrique.
BULLIARD Histologie.	DOGNON Physique.
CACHERA Pathologie médicale.	FUNCK Pathologie chirurgicale.
CORDIER Anatomie.	GALLIARD Parasitologie.

II. — AGREGES EN EXERCICE (Suite)

MM.	
GARCIN	Pathologie médicale.
M ^{lle} GAUTHIER- VILLARS ...	Anatomie pathologique.
GAYET	Physiologie.
DE GENNES ...	Pathologie médicale.
GIROUD	Histologie.
HAGUENAU ...	Pathologie médicale.
HALPHEN ...	Oto-rhino-laryngologie.
JOANNON ...	Hygiène.
LACOMME ...	Obstétrique.
LANTUEJOL... LAVIER	Obstétrique.
LAVIER	Parasitologie.
LELONG	Pathologie médicale.
LEMAIRE ...	Pathologie expérimentale.
M ^{lle} J. LÉVY...	Pathologie médicale.
LENÈGRE	Pharmacologie.

MM.	
MARCHAL ...	Pathologie chirurgicale.
MENÉGAUX ..	Pathologie chirurgicale.
MOLLARET ..	Pathologie médicale.
MOUQUIN	Pathologie médicale.
PATEL	Pathologie chirurgicale.
PETIT-DUTAIL- LIS	Pathologie chirurgicale.
RENARD	Ophtalmologie.
RICHET	Physiologie.
SÈNEQUE	Pathologie chirurgicale.
SICARD	Pathologie chirurgicale.
SOULIE	Pathologie médicale.
SUREAU	Obstétrique.
TURPIN	Pathologie médicale.
WILMOTH	Pathologie chirurgicale.

III. — AGREGES RAPPELES A L'EXERCICE

pour le service des examens

MM.	
ALGLAVE	Pathologie chirurgicale.
BUSQUET	Pharmacologie.
CHAILLEY- BERT	Physiologie.
GUÉNIOT	Obstétrique.
HEITZ-BOYER.	Pathologie chirurgicale.

MM.	
LARDENNOIS.	Pathologie chirurgicale.
LE LORIER ..	Obstétrique.
NEVEU- LEMAIRE ..	Parasitologie.
VAUDESCAL ..	Obstétrique.

IV. — AGREGES CHARGES DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

à titre permanent

MM.	
ALAJOUANINE.	Clinique médicale.
BRULÉ.	
CATHALA	
CHABROL.	
CHEVALLIER	
GASTINEL	
DONZELOT.	
DUVOIR.	
HUGUENIN	
LAROCHE (G.).	
LIAN.	
MOREAU	
PIÉDELIEVRE.	
SÉZARY.	

MM.	
BASSET.	Clinique chirurgicale.
BROCC.	
CADENAT.	
GATELLIER.	
DE GAUDART	
D'ALLAINES.	
MOULONGUET.	
QUÉNU.	
MOURE.	

MM.	
ECALLE.	Clinique obstétricale.
METZGER.	
VIGNE.	
PORTES.	

V. — CHARGES DE COURS

MM.	
CHAILLEY-BERT, agrégé.	Education physique.
LEDoux-LEBARU	Radiologie clinique.
RUPPE	Stomatologie.
WEIL-HALLÉ	Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON PERE, LE DOCTEUR A.-E. MEILLON

*Qui me donne l'exemple de quarante
ans de labeur professionnel et de dé-
vouement au bien public.*

A MA MERE

A MA FAMILLE

A MES AMIS

A MONSIEUR LE PROFESSEUR F. LEMAITRE

Professeur de Clinique Oto Rhino-Laryngologique
à la Faculté de Médecine de Paris

*Qui a bien voulu me faire le grand
honneur de présider cette thèse, hom-
mage respectueux.*

A MES MAITRES

Stage

1928. Salpêtrière :

MONSIEUR LE PROFESSEUR GOSSET

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ PETIT-DUTAILLIS

1929. Cochin :

MONSIEUR LE PROFESSEUR F. WIDAL

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ BRULÉ

MADAME BERTRAND-FONTAINE

1929. Beaujon :

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ OKINCZYC

Externat

1930. Saint-Antoine :

MONSIEUR LE DOCTEUR BRAINE

MONSIEUR LE DOCTEUR MAXIMIN

1931. Bretonneau :

MONSIEUR LE DOCTEUR A. BLOCH

MESSIEURS LES DOCTEURS LEMOINE ET LAROQUE

1932. Saint-Louis :

MONSIEUR LE PROFESSEUR GOUGEROT

MONSIEUR LE DOCTEUR BURNIER

1933. Saint-Louis :

MONSIEUR LE DOCTEUR CATHALA

MONSIEUR LE DOCTEUR LANTUÉJOUL

1933. Beaujon :

MONSIEUR LE DOCTEUR AUBOURG

MESSIEURS LES DOCTEURS PORCHER ET SURMONT

1934. Hérold :

MONSIEUR LE PROFESSEUR R. DEBRÉ

MONSIEUR LE DOCTEUR MARIE

1935. Maison de Santé Dubois :

MONSIEUR LE PROFESSEUR L. DE GENNES

1936. Bichat :

MONSIEUR LE DOCTEUR G. FAROY

MESSIEURS LES DOCTEURS P. GUÉRIN ET R. DERON

1937. Bichat :

MONSIEUR LE DOCTEUR WEISMAN-NETTER.

A TOUS MES ANCIENS MEDECINS CHEFS

6^e Génie :

MONSIEUR LE MÉDECIN COMMANDANT GÉROME

MONSIEUR LE MÉDECIN CAPITAINE MATHIERE

MONSIEUR LE MÉDECIN LIEUTENANT MOURA

Saint-Maixent :

MONSIEUR LE MÉDECIN LIEUT.-COLON. HASSENFORDER

Base Aérienne Tours :

MONSIEUR LE MÉDECIN COMMANDANT P. BERGERET

MONSIEUR LE MÉDECIN CAPITAINE PEYRE

32^e R. I. :

MONSIEUR LE MÉDECIN CAPITAINE BIGOU

MONSIEUR LE MÉDECIN LIEUTENANT GODEFROY

310^e R. I. :

MONSIEUR LE MÉDECIN CAPITAINE LANDES

MONSIEUR LE MÉDECIN LIEUTENANT BERODE

A TOUS MES CAMARADES DE PELOTON
ET COLLEGUES AUXILIAIRES

A TOUS MES CHEFS MILITAIRES

INTRODUCTION

Parmi les organes les plus complexes et les plus délicats du corps humain, il n'en est point qui n'aient bénéficié ces dernières années de méthodes d'exploration et d'analyse empruntées au domaine de la physique. Il nous a paru toutefois qu'il était possible de perfectionner certaines de ces méthodes et de pousser plus loin la connaissance du fonctionnement normal et pathologique des organes de la phonation et de l'audition, substituant à des procédés empiriques des méthodes plus objectives.

Ces méthodes ont été ébauchées par certains chercheurs dans le domaine de la phonation, par d'autres dans celui de l'audition: il nous a paru possible, vu la réversibilité de certains phénomènes, de rapprocher ces méthodes et de les condenser schématiquement.

Vu les circonstances actuelles ce modeste travail qui visait ambitieusement au départ à apporter des résultats, se borne à suggérer quelques voies nouvelles dans lesquelles d'autres chercheurs pourront s'orienter avec fruit, à condition de posséder de solides notions de physique et surtout d'électricité.

Les théories sur le fonctionnement des organes de la phonation et de l'audition sont presque aussi nombreuses que les auteurs ayant abordé ces problèmes : le fait qu'aucune théorie ne soit universellement admise et ne soit mise en défaut au moins sur certains points, nous a paru indiquer que les études leur servant de base n'avaient point percé tous les mystères de ce fonctionnement. Les moyens nouveaux que nous proposons permettront peut-être de pousser plus loin les observations et d'en déduire une théorie plus approchée de la vérité.

CHAPITRE PREMIER

STROBOSCOPE

En ce qui concerne l'étude du larynx et de la phonation, les méthodes médicales d'exploration peuvent être considérées actuellement comme à la fois rudimentaires et entachées d'un facteur personnel qui rend difficiles les comparaisons: le miroir laryngien associé à une source d'éclairage continu, l'œil et l'oreille du clinicien, sont les seuls moyens couramment employés.

L'exploration bronchoscopique a toutefois familiarisé les oto-rhino-laryngologistes avec le manie-
ment d'un matériel beaucoup plus complexe que celui préconisé dans cet ouvrage et dont la dangereuse partie à « usage interne » n'existe pas.

L'examen du larynx au repos présente son intérêt, mais celui du larynx en action semble devoir être plus fructueux encore; si l'examen au repos permet de déceler la structure et ses anomalies, il ne permet de prévoir que très imparfaitement le fonctionnement et ses anomalies.

La difficulté vient de ce que le larynx est ce que nous qualifierons un « organe vibratoire » dont le registre s'étend surtout au-dessus de la limite de la persistance visuelle : l'examen à l'œil nu en éclaircissement continu ne permet pas d'en suivre les mouvements, la plupart de ces mouvements seraient d'ailleurs gênés ou modifiés assez profondément par l'appareillage ordinaire : miroir laryngien obligeant à tenir la bouche ouverte, enfin, l'air étant parfaitement transparent, les mouvements imprimés aux filets d'air à leur passage dans le larynx ou les cavités annexes sont parfaitement invisibles.

Nous avons donc cherché à maîtriser ces trois difficultés que constituent un ralenti apparent des mouvements, la présence d'un dispositif optique ne causant pas de gêne, la matérialisation des vibrations transmises au fluide véhicule des sons.

Il ne paraît pas possible de ramener par un artifice à des fréquences très basses les vibrations elles-mêmes : par contre il est possible de donner l'illusion de leur ralentissement en rendant leur observation discontinue.

On a essayé la méthode cinématographique : prise de clichés que l'on projettera au ralenti ; mais la mise au point de l'optique, l'illumination nécessaire, la faible longueur possible des observations, le nombre de manipulations qui précèdent la lecture du film, le coût enfin de l'opération, rendent impraticable cette méthode autrement que pour fixer une

image. D'ailleurs la méthode ne saurait se prêter à une instantanéité dépassant le 500^e de seconde.

C'est pour cela que des méthodes d'observation directe stroboscopique ont été mises en avant; elles consistent à produire une occultation périodique de l'image laryngée réfléchie par le miroir, ou une occultation périodique de la source lumineuse éclairante; la perception dans les deux cas est rendue intermittente à un rythme approché de la fréquence de vibration du larynx.

A condition que la fréquence vocale soit très voisine (au maximum 15 ou 16 périodes par seconde d'écart en plus ou en moins) de la fréquence d'occultation de l'image ou de la lumière, on observe une image ralentie du mouvement vibratoire, dont la vitesse apparente est ramenée à la différence entre les deux fréquences: on voit ainsi les mouvements du larynx: cordes vocales et parois, comme on verrait aussi un mouvement des piliers ou du voile du palais.

Ce principe admis on se heurte à de nombreuses difficultés pratiques: le registre de la voix couvre plusieurs octaves, avec les harmoniques qui donnent à chaque voix son timbre propre, c'est à des fréquences relativement élevées que l'on aura affaire: les questions d'inertie jouent donc un grand rôle; il faut que le même appareillage passe facilement d'une fréquence à l'autre de façon à permettre l'étude à n'importe quelle fréquence; il faut que ces variations n'entraînent pas la perte de l'effet strobosco-

pique, le décalage avec la fréquence vocale devant être maintenu; en raison de l'intérêt qui s'attache à une observation continue et de l'impossibilité qu'il y aurait à assurer celle-ci en présence de réglages à faire manuellement, il est désirable que l'appareillage soit autorégleur; enfin certaines conditions sont à respecter autant que possible : opérer en lumière blanche, si possible en chambre claire, et naturellement avec un appareillage qui, par son prix, son encombrement, son poids, sa simplicité d'emploi puisse sortir du laboratoire pour tomber dans le domaine de la pratique.

La première condition, pouvoir opérer pratiquement à n'importe quelle fréquence, est une des plus gênantes: elle oblige à écarter tous les dispositifs faisant intervenir un contrôle ou une transmission mécanique tout au moins pour une étude scientifique de la question: pour certaines applications pratiques ultérieures on pourra se contenter de dispositifs simples dont l'inertie n'est pas exclue, dont les résultats ne sont pas comparables d'une fréquence à l'autre, dont les erreurs sont constantes mais mesurables et corrigeables.

La seconde condition, pouvoir à toutes ces fréquences maintenir un effet stroboscopique, exige un parallélisme qui complique beaucoup le problème.

Les autres conditions ne sont pas essentielles et visent simplement à une amélioration des résultats ou des conditions d'emploi.

Ces conditions essentielles subsistent quelle que soit la méthode stroboscopique employée : on peut en effet à volonté couper le rayon visuel ou couper l'éclairement, pourvu que les interruptions aient lieu à la fréquence voulue le résultat sera le même.

Le premier système imaginé, le disque tournant percé de trous placé sur le faisceau d'éclairage (il aurait pu tout aussi bien se trouver placé sur le rayon visuel, entre l'image et l'observateur) ne répond pas à ces conditions ; il faut changer de disques pour des fréquences extrêmes ; le disque a une masse importante et ne peut changer de vitesse instantanément ; le décalage de vitesse est obtenu en tâtonnant, à la main, et il faut refaire le réglage chaque fois que l'on change la fréquence observée.

On pourrait l'améliorer en y substituant un tambour garni de miroirs plans, un obturateur de beaucoup plus faibles dimensions commandé magnétiquement, statiquement, électrodynamiquement, par magnétostriktion, par effet piézo-électrique ; on pourrait ainsi, à force d'ingéniosité, d'équilibrages ou de compensations, obtenir un système à peu près indépendant de la fréquence, à peu près sans inertie, mais il est plus simple encore d'adopter un dispositif qui ne comporte aucun élément mécanique sujet à l'inertie, que nous demanderons tout naturellement à l'électronique pure.

Il existe une foule de procédés pour faire varier une source lumineuse : étant donné la fréquence

nécessaire de ces variations et la nécessité d'obtenir un contraste aussi marqué que possible entre les périodes d'allumage et d'extinction, il faut exclure tous les systèmes d'obturation ou de commutation mécaniques, toutes les lampes à filament dont l'inertie calorifique est considérable.

On a commencé par faire appel aux décharges dans les gaz, on a fait appel à des tubes renfermant des gaz rares : néon, crypton, argon, hélium ou des vapeurs métalliques : mercure, sodium, etc. L'inertie de ces tubes, sans être nulle — elle varie avec le gaz, la température, la pression, etc. — serait négligeable dans le cas présent; mais ces tubes ont l'inconvénient d'une certaine instabilité aux tensions critiques qui avoisinent l'amorçage, d'une certaine absence de linéarité dans leur effet — l'éclairement ne pouvant en être varié progressivement — d'un pouvoir éclairant par unité de surface assez faible, mais surtout celui de produire une lumière monochromatique.

Les muqueuses de la région qui nous intéressent pouvant varier du rose rouge au rouge violacé ne donneront rien sous un éclairage bleu vert : en raison du phénomène des couleurs complémentaires, les muqueuses apparaîtraient noires ou peu s'en faut et l'on n'y verrait goutte.

Pour cette raison seules des colorations rouges, orangées ou jaunes pourront être utilisables : on se trouve ainsi limité pratiquement au gaz néon ou à la vapeur de sodium. Mais il paraît bien plus dési-

nable encore d'opérer en lumière blanche et avec une source aussi punctiforme que possible.

Dans cet ordre d'idée la lampe cratère nous a donné quelques résultats : il s'agit d'une lampe contenant un gaz ou un mélange de gaz dont l'ionisation est obtenue comme dans les lampes précédentes presque instantanément par application de tensions électriques, mais dans laquelle les électrodes ne sont pas inertes : l'une d'entre elles ou cathode froide porte une sorte de cratère garni d'un mélange de terres rares : barium, etc., dont le pouvoir d'émission secondaire est important.

Dans ces lampes cratère l'ionisation est rendue très intense au niveau de cette cathode froide dont le pouvoir émissif est considérable ; on peut disposer des anodes accessoires qui permettent de faire varier assez facilement la brillance du spot obtenu, dont la couleur peut être très voisine de la lumière du jour.

Malheureusement ces lampes, dont l'étude avait été poussée très loin il y a quelques années pour leur application à la télévision, ont été détrônées depuis pour cet usage et leur fabrication industrielle a été pratiquement abandonnée.

Le tube cathodique qui a pris leur place en télévision nous fournira ici aussi, un jour, une solution idéale parce qu'il s'agit d'un organe pratiquement sans aucune inertie : la source lumineuse qu'il fournit se module très facilement, avec une instantanéité et une linéarité proches de la perfection, le spot

lumineux obtenu peut être centré, déplacé, rendu plus ou moins punctiforme avec la même aisance que l'on peut faire varier sa brillance.

Mais il s'agit ici encore d'un domaine exploré depuis peu : les premiers tubes donnaient une coloration verdâtre ou bleuâtre qui ne conviendrait pas ici (couleur complémentaire du rouge) et leur intensité lumineuse était très faible. D'immenses progrès sont réalisés en ce moment dans ce domaine, des tubes donnant une intensité lumineuse suffisante pour des projections sont sortis, d'autres donnant un spot de lumière blanche.

Il ne reste plus qu'à combiner les avantages d'un spot très lumineux et de couleur blanche dans la même lampe, à réduire les tensions d'excitation très élevées encore nécessaires actuellement pour obtenir une solution demain à notre problème.

En attendant cette solution d'avenir et puisqu'il nous a fallu abandonner celle du tube cratère dont la fabrication est arrêtée, il nous a fallu trouver une solution d'actualité : c'est à la cellule de Kerr que nous nous sommes adressés.

Ici nous utilisons une source d'éclairage absolument quelconque : il suffit qu'elle remplisse les conditions de luminosité, de stabilité, de coloration et de simplicité désirables ; une lampe électrique ordinaire lumière du jour à filament spiralé concentré convient.

Mais cette source d'éclairement fixe sera modulée à son passage au travers de la cellule de Kerr sans aucune inertie par utilisation de la propriété qu'ont certaines substances de produire une rotation des faisceaux lumineux sous l'action d'un champ électrique.

La lumière entre dans la cellule de Kerr en passant au travers d'un prisme bi-réfringent de Nicol en tourmaline: ce Nicol donnera aux vibrations lumineuses une polarisation dans un plan déterminé, horizontal par exemple, filtrant celles qui auraient une polarisation dans un plan vertical ou oblique. Puis ces vibrations lumineuses polarisées horizontalement passeront dans la cellule proprement dite, remplie de liquides, dérivés benzéniques comme le toluène, ayant la propriété de faire tourner le plan de polarisation sous l'action du champ électrique appliqué entre deux électrodes. Enfin les vibrations lumineuses ressortiront en passant à travers un second Nicol, horizontal lui aussi, par exemple.

Si on applique des tensions aux deux électrodes le plan de la lumière polarisée par le Nicol d'entrée va se trouver changé, d'autant plus que la tension appliquée sera plus élevée, la lumière ayant changé de plan ne sera plus admise à travers le Nicol de sortie qui ne laisse passer que les vibrations restées horizontales. Tout se passe comme si un écran d'opacité variable avait été placé sur le trajet de la source lumineuse, mais les variations sont instantanées et

la luminosité peut varier de l'obscurité totale à l'intensité maxima.

Le rendement est intéressant : la puissance électrique nécessaire au contrôle est faible, l'absorption de lumière au repos faible, il est facile d'inverser le fonctionnement en décalant les Nicols l'un par rapport à l'autre et d'obtenir ainsi à volonté pour la tension minima soit l'extinction totale, soit la luminosité maxima, la tension maxima produisant naturellement l'effet inverse et les tensions intermédiaires des effets intermédiaires.

En associant à une lampe électrique une cellule de Kerr nous avons une source lumineuse qui remplit toutes les conditions désirables de coloration, d'intensité lumineuse, d'instantanéité de variation et de facilité de commande.

Allons-nous nous en servir comme les précurseurs en priant le sujet de « tenir une note », et en réglant notre fréquence des éclats lumineux légèrement en-dessus ou en-dessous ? Evidemment il nous est facile de graduer le réglage à l'avance, par exemple avec les notes musicales disposées en un clavier quelconque.

Mais l'intérêt sera bien limité : comment suivre des sons articulés comme ceux de la parole où la fréquence ne fait que changer ? Comment poursuivre l'examen pour les sons aigus où le décalage nécessaire à l'effet stroboscopique n'est plus qu'une fraction infime de la fréquence, où il faut se placer non

pas un ton ou un demi ton à côté, mais un comma au-dessus ou au-dessous?

L'examen est très limité dans ses possibilités et ne saurait s'adresser par exemple à des enfants ou à des malades. Même dans les cas où il est possible, il ne saurait être prolongé: il apparaît, en effet, à l'usage que tous les sujets « chevrotent » à un certain degré et ne peuvent « tenir » une note d'une façon prolongée, ceci en raison de diverses causes, les unes physiologiques (mouvements respiratoires, battements cardiaques ou artériels, contractures musculaires, etc.), les autres psychiques (facteur émotionnel, etc.) parfaitement imprévisibles. Il devient ainsi impossible, à la main, de faire un réglage stable aux sons aigus, et de suivre des variations qui sont plus rapides que les réflexes de l'opérateur.

Ceci nous a fait apparaître la nécessité d'un contrôle automatique, contrôle qui devra avoir une instantanéité incompatible avec une transmission mécanique et c'est une raison de plus d'avoir choisi une source lumineuse dont les variations soient instantanées.

Le problème n'est pas facile car il s'agit non pas simplement de suivre un phénomène périodique, de se synchroniser avec lui, mais bien de suivre une variation parallèle à la sienne, laissant toujours subsister un écart de fréquence quasi constant de l'ordre d'une dizaine de périodes par seconde.

Le seul moyen strictement automatique consiste à demander aux phénomènes à observer de contrôler eux-mêmes le stroboscope; comme il s'agit de sons, c'est-à-dire de variations de pression, il ne peut y avoir contrôle direct d'un phénomène lumineux; il faut un intermédiaire, ce qui ne va pas sans introduire fatalement une certaine distorsion, mais en s'adressant à un intermédiaire électronique on réduira les erreurs et les retards au minimum.

Les sons seront convertis au moyen d'un microphone en impulsions électriques, celles-ci après avoir subi des transformations, amplification et décalage en fréquence nécessaire à l'effet stroboscopique, seront utilisées pour contrôler les éclats lumineux.

La transformation des sons en impulsions électriques n'offre pas grande difficulté : il existe industriellement à l'usage de la T. S. F. ou de l'enregistrement sur film ou sur disque une grande quantité de microphones extrêmement perfectionnés, à base de phénomènes piézoélectriques (apparition de tensions électriques entre les faces d'un cristal de Rochette soumis à des variations de pression), dynamoélectriques (apparition de tensions dans un bobinage ou un ruban placé dans un champ magnétique et mobilisé par les variations de pression), électrostatiques (variations de capacité entre une électrode immobile et l'autre soumise aux variations de pression) pour ne citer que les meilleurs.

Plus délicate est la production du décalage entre la fréquence des sons et celle des éclats lumineux : plusieurs solutions théoriques se partagent notre attention : battement de la fréquence incidente avec un oscillateur fixe, avec un oscillateur variable, glissement provoqué d'un oscillateur réglable, introduction d'un circuit de retard.

La plus simple au premier abord consiste à additionner ou soustraire 10 ou 15 périodes de la fréquence incidente : pour cela il faut en principe faire battre celle-ci avec un oscillateur à très basse fréquence de l'ordre de 10 à 15 par seconde, malheureusement, en raison de la très faible différence de fréquence existante le filtrage est très délicat ; on retrouve en effet à la sortie un mélange complexe de quatre fréquences, la fréquence fixe de 10 ou 15 Pps. facile à éliminer, et trois fréquences très voisines : la fréquence incidente et le produit de son addition et de sa soustraction avec la fréquence fixe ; isoler l'une de ces deux dernières au moyen d'un filtre est excessivement difficile en raison du faible écart.

On peut tourner cette difficulté en procédant à une double ou triple conversion de fréquence, ou à une inversion de fréquence, mais si la difficulté est surmontée ce n'est qu'au prix de grandes complications.

Une solution plus simple consiste à utiliser un oscillateur réglable que l'on ajuste à la main à peu près à la fréquence voulue et qui ensuite, au lieu de

rester stable sera amené à glisser vers des fréquences plus basses ou plus élevées quand la fréquence des sons baissera ou montera sans toutefois jamais la rattraper exactement : un décalage de 10 à 15 périodes par seconde pourra ainsi être maintenu d'une façon constante, produisant l'effet de ralenti stroboscopique, autour d'une fréquence de départ obtenue par réglage manuel.

Ce dispositif sera simple et commode pour remplacer les systèmes actuels où non seulement le réglage initial, mais encore les retouches doivent être faites manuellement : il rend possible, malgré un certain chevrottement, la vision ralentie d'un larynx émettant une fréquence quelconque même élevée, le ralenti est stable, permettant un examen assez prolongé pour être utile.

Mais si le système à glissement est autostable dans certaines limites il n'est pas automatique.

La solution que nous adoptons est, elle, absolument automatique : puisque la difficulté vient des variations incessantes, mais pas instantanées, des sons émis par le sujet, surtout s'il s'agit de sons articulés, il paraît logique d'utiliser ces variations elles-mêmes pour maintenir le ralenti stable.

Prenons un exemple :

Le son émis par le sujet avait à l'origine pour fréquence 240, mais le ton est monté actuellement à 241, pour continuer ensuite vers 250 : si nous produisons 240 éclats lumineux quand les cordes vocales

vibrent 244 fois par seconde, elles auront l'air de faire sous nos yeux quatre vibrations lentes, de même si le ton passe à 248 et les éclats s'accélèrent à 244 ; s'il baisse ensuite, la fréquence des éclats devra suivre également avec un certain retard, les éclats pourront être ici plus rapides que les vibrations ; il en résultera néanmoins encore un ralenti ; quand la fréquence des éclats est égale à celle des sons le ralenti fait place à l'immobilité pour reprendre aussitôt que les deux fréquences s'écartent.

Comment obtenir ce retard de la fréquence d'illumination sur celle des sons ? Le procédé le plus parfait consiste à faire agir les impulsions fournies par le microphone sur un circuit de retard, puis à amplifier ces impulsions ainsi retardées et les utiliser pour la modulation de la lumière dans la cellule de Kerr.

Un circuit de retard électrique peut être calculé de manière à obtenir, soit un retard constant au point de vue temps : le décalage sera alors d'autant plus grand qu'il s'agira de fréquences plus élevées ; soit plutôt ici un décalage constant en fréquence, le retard ayant un temps d'autant plus court que la fréquence est plus élevée.

Dans le premier cas on aura un ralenti qui sera variable, sa fréquence apparente étant surtout fonction de la rapidité des changements de ton que l'on pourra ainsi étudier (pose d'une voix). Dans le second cas le ralenti sera à peu près constant à toutes les fréquences.

Mais si ces caractéristiques (indépendance de la fréquence des sons ou indépendance des variations de ton) ne sont pas indispensables, si l'on peut, comme dans la pratique courante, se contenter d'une certaine dépendance entre le ralenti observé, la fréquence observée et les variations plus ou moins rapides de cette fréquence, un autre système de retard est à adopter pour sa simplicité.

Il est basé sur la différence de vitesse de propagation de la lumière et du son, la première pratiquement instantanée, la seconde relativement lente (330 mètres à la seconde) : notre circuit de retard consiste simplement à remplacer le microphone laryngé — microphone de contact —, par un microphone mobile que l'on éloignera plus ou moins.

Le décalage au point de vue temps est facilement réglable entre le $1/100^e$ de seconde (distance 33 centimètres au total) et le $1/50^e$ (6 m. 60) qui sont à peu près les limites utiles. Le ralenti observé sera fonction et de cette distance et des variations de ton du sujet. Plus ces dernières seront rapides (exécution par exemple d'une gamme montante ou descendante rapide), plus il conviendra de rapprocher le micro pour avoir un ralenti lent.

Nous avons ainsi réalisé un ensemble pour l'examen au ralenti de tous les mouvements (ceux des lèvres aussi bien que ceux des cordes vocales d'ailleurs à condition d'être en chambre noire) associés à la phonation : en raison des principes de fonction-

nement qu'il utilise nous l'avons désigné sous le nom de stroboscope électronique à commande et parasyynchronisme automatiques.

Il comporte schématiquement :

Un microphone mobile de prise de son qui transforme les sons produits par le sujet en expérience, en impulsions électriques retardées et décalées par suite du trajet acoustique parcouru.

Un amplificateur électronique à basse fréquence, de haute fidélité, qui amplifie ces impulsions et les transmet sous la forme appropriée à une cellule de Kerr qui module en conséquence un faisceau lumineux éclairant émanant d'une source banale et projeté à sa sortie sur un miroir laryngien comme le ferait un miroir de Clar ordinaire.

Accessoirement pour rendre les images plus contrastées, l'amplificateur est muni d'un amplificateur de contraste qui augmente et régularise la modulation d'un régulateur automatique de niveau qui rend les variations de la modulation indépendantes en profondeur de l'intensité des sons proférés ou de l'éloignement du micro; d'une prise de modulation dont nous verrons l'utilité pour l'analyse des sons émis; d'une trappe ajustable destinée à indiquer directement la fréquence sur laquelle on travaille; d'un compensateur qui corrige les défauts de linéarité de l'amplificateur entre la prise de son et la sortie de lumière; de circuits électriques de retard constant en temps et en fréquence.

CHAPITRE II

ENDOPERISCOPE

Il serait souhaitable que des perfectionnements soient apportés également à l'optique utilisé pour l'examen du larynx ; le miroir laryngien à réflexion simple a le gros inconvénient d'être encombrant et gênant pour le sujet, sans parler de petits inconvénients accessoires : réflexe nauséeux, buées dues à la différence de température, etc.

Le fait d'introduire ce miroir oblige le sujet à garder la bouche assez largement ouverte et paralyse certains mouvements des lèvres, de la langue ou des mâchoires, limitant ainsi d'une façon considérable les sons articulés (surtout les consonnes) dont il est possible de suivre la production.

Le développement des procédés optiques modernes doit permettre de réduire considérablement la gêne et de ramener l'encombrement à sa plus simple expression : il doit pouvoir s'établir les deux faisceaux lumineux — le faisceau d'éclairement et celui d'observation — à travers un tube n'excédant pas le diamètre d'une paille ou d'une plume d'oie.

Un tube aussi réduit pourrait être introduit entre les arcades dentaires ou par voie nasale, de sorte qu'il ne gêne pas le sujet et lui permette d'articuler un son quelconque : il suffirait d'un dispositif périscopique relativement simple avec un prisme à réflexion totale au coude que l'appareil devrait nécessairement présenter au point où d'horizontal il deviendrait vertical, et un second prisme argenté à moitié pour permettre d'introduire latéralement le faisceau lumineux modulé.

Un tel dispositif avec des variantes permettrait naturellement l'exploration non seulement du larynx mais encore des cavités annexes, de la bouche en particulier, dont le rôle est si important dans la production du timbre : c'est ainsi que l'on pourra saisir sur le vif des mouvements de contracture rythmique du voile et des piliers.

Le terme que nous pourrions employer pour désigner un tel dispositif optique serait celui de micropériscope ou endopériscope ou minipériscope laryngien.

La combinaison de notre stroboscope électronique avec cet endopériscope peut nous permettre maintenant de saisir au ralenti des mouvements des parois, mais n'y aurait-il pas un intérêt au moins égal à déceler les mouvements du fluide contenu entre ces parois et auquel elles transmettent leurs vibrations ?

Dans un tuyau d'orgue, sur une table d'harmonie, il est possible de matérialiser les nœuds et les ventres des vibrations, mais ce ne serait pas ici possible en

déposant le long des parois une poudre colorée dont on saisisait les déplacements.

Nous avons pensé nous inspirer de divers travaux sur l'écoulement des fluides et en particulier des très nombreuses études publiées sur des problèmes d'aérodynamique depuis que le vol du plus lourd que l'air est à l'ordre du jour : des travaux remarquables ont été faits par Magnan sur le vol des insectes et des petits oiseaux.

Pour matérialiser les lignes de force de ce fluide transparent qu'est l'air, il se sert de fumée qui est introduite d'une façon aussi uniforme que possible dans la boîte à fumée dans laquelle il enferme ses insectes et dans laquelle il fait ses observations au travers d'une paroi vitrée.

Nous ne pouvons ici employer la paroi vitrée si nous pouvons assez facilement transformer la trachée en soufflerie de fumée et le pharynx en boîte à fumée : une observation au moyen du miroir habituel serait à peu près impossible en raison de l'interposition sur le trajet de l'image réfléchie de volutes de fumée qui se superposeraient sur plusieurs plans.

Mais ici notre endopériscopes où le trajet optique se poursuit à l'abri d'un tube étanche nous permettra de saisir ce qui se passe au voisinage du larynx et des cordes vocales et de suivre le trajet tantôt resserré, tantôt épanoui, des filets d'air.

La seule modification qu'il est nécessaire d'introduire dans l'appareillage consiste à prévoir une

inhalation de fumée : celle-ci peut être faite par voie nasale au moyen d'un inhalateur analogue par exemple à celui des appareils Draeger à respiration artificielle, ou au moyen d'une sonde : il y a intérêt en effet à obtenir par un brassage préalable une homogénéité aussi parfaite que possible dans la répartition de la fumée.

Nous avons songé aussi à introduire la fumée pure au moyen d'une petite tubulure annexe de notre endopériscopes : mais en réalité il y a un assez gros inconvénient à obliger la fumée à suivre un mouvement d'inspiration parfaitement inutile avant de pouvoir étudier son expiration seule intéressante.

Une possibilité nous est toutefois offerte : l'injection intra-trachéale par voie suscrico hyoïdienne ; il y a certainement moins de danger et de risques à employer cette voie d'injection pour de la fumée qu'il n'y en a pour du Lipiodol par exemple ; c'est certainement là une hardiesse qui se justifiera un jour en raison de l'intérêt que présentera l'étude des filets d'air en rapport avec la production des sons, mais il semble prématuré de s'en servir avant d'avoir au préalable dégrossi la question au moyen des examens que permettent la simple inhalation de fumée malgré les tourbillons parasites ou résiduels créés par cette inhalation.

En ce qui concerne la nature et la coloration de cette fumée il y a certainement une question à creuser si l'on veut obtenir une fumée dense, homo-

gène, persistante, contrastant bien avec la coloration des parois : nous nous sommes tenus à la vulgaire fumée du tabac, qui présente à un degré satisfaisant ces qualités : sa coloration bleutée contraste bien avec les muqueuses rosées et ses propriétés irritantes sont depuis longtemps tolérées par tous les fumeurs.

Pour cette étude des filets d'air en eux-mêmes il faudrait peut-être reprendre la question d'un éclairage monochromatique en utilisant précisément le phénomène des couleurs complémentaires pour obtenir des filets fortement colorés contrastant avec un fond noir formé par les parois, mais naturellement pour les étudier en rapport avec les parois qui règlent leur écoulement saccadé et provoquent des régimes tourbillonnaires il faut que les parois soient visibles et pour cela opérer avec de la fumée bleue et une lumière blanche ou jaune (vapeur de sodium).

CHAPITRE III

PHONOSCOPE

Jusqu'à présent nous n'avons envisagé que l'étude de la production des sons : si nous voulons maintenant tirer le maximum de bénéfices de cette étude, il va nous falloir analyser les sons ainsi produits pour nous permettre de rapprocher telle ou telle de leurs caractéristiques de tel ou tel phénomène observé dans leur production, de rapprocher avec certitude telle ou telle anomalie physiologique ou pathologique de ses effets sur les sons émis.

L'oreille humaine est sans doute un assez bon témoin et avec son système de jumelage de deux organes elle permet des impressions de relief et des appréciations de distance, mais il faut des dons particuliers et un long apprentissage pour en faire un instrument d'analyse, pour arriver à distinguer et à apprécier non seulement la hauteur et l'intensité d'un son mais encore ces éléments si fluides et difficilement définissables qui en constituent le timbre.

C'est donc à un juge plus infailible qu'il faut nous adresser : autrefois on s'est servi de diapasons, de

résonnateurs, de flammes chantantes, etc.; tous ces dispositifs sont encombrants et peu pratiques. Depuis on s'est adressé à l'enregistrement des phénomènes acoustiques à étudier : non pas tant enregistrement sur disques que sur film ou sur bande par un procédé de gravure ou photographique. Mais tous ces systèmes ont le gros inconvénient de ne pas fournir un contrôle extemporané qui permette de rapprocher instantanément deux phénomènes que l'on observe simultanément.

Ici encore c'est au domaine de l'électronique que nous nous sommes adressés pour la solution de ce problème délicat que représente l'analyse des sons de la voix humaine.

Nous avons demandé à l'oscilloscope cathodique de nous donner une image instantanée et fidèle des sons émis : ceux-ci recueillis par un microphone à contact placé directement sur le larynx extérieurement pour l'étude des sons à leur origine, ou microphone à pression placé à distance pour l'étude des sons à leur émission au dehors, sont transformés par ce microphone en oscillations électriques, qui sont amplifiées par un amplificateur à lampes électroniques et appliquées ensuite aux plaques verticales d'un oscilloscope cathodique.

Le spot de l'oscilloscope, qui avait auparavant été centré, se déplacera verticalement en produisant un trait d'autant plus long que le signal appliqué est plus fort : le voltage qu'il serait nécessaire d'appli-

quer pour obtenir un même déplacement linéaire du spot est la tension équivalente. Comme on connaît ou peut mesurer l'amplification utilisée et le rendement du microphone pour transformer les vibrations mécaniques ou les variations de pression en tensions électriques, il est facile de calculer la tension correspondant à chaque son.

Nous voici donc en possession d'une mesure quantitative de l'intensité maximum instantanée d'un son : un bon microphone, un bon amplificateur et un tube cathodique sont insensibles à la fréquence des oscillations ; la mesure comparative de deux sons quelconques est donc possible par ce procédé.

Mais l'intensité maximum n'est pas la caractéristique la plus intéressante d'un son : avant d'atteindre ce maximum le son est passé par une série de valeurs intermédiaires dont la répétition est caractéristique de la fréquence du son, et dont les valeurs sont caractéristiques de son timbre.

L'oscilloscope cathodique va nous permettre de les étudier également : il suffit d'appliquer aux plaques horizontales une tension graduellement variable pour que le spot, au lieu de monter et de descendre verticalement dans l'axe médian du tube, subisse en même temps un déplacement latéral qui pourra l'amener en un point quelconque de l'écran actif ; la hauteur du spot par rapport à l'axe de référence horizontal sera fonction de l'intensité instantanée du son à cet instant, mais sa situation par

rapport à l'axe de référence vertical dépendra de la tension appliquée au même moment entre les électrodes horizontales. Le spot, au lieu de décrire une droite, va décrire une ligne sinueuse dont, en raison de la persistance pendant une fraction de seconde de la phosphorescence de l'écran, nous pourrons voir le dessin.

La durée en fractions de seconde d'un cycle complet comportant un minimum et un maximum définit la fréquence ou hauteur du son, la forme que revêt la courbe est caractéristique du timbre de ce son.

Les tensions appliquées aux électrodes horizontales pour obtenir cet étalement des images sont appelées tensions de balayage ou base de temps. Pour obtenir le maximum de détail dans les images il est désirable qu'un seul cycle apparaisse à la fois sur l'écran et s'y étale largement. Si par exemple le spot parcourait en une seconde l'écran de gauche à droite et que la persistance lumineuse fût également de l'ordre d'une seconde on verrait se dessiner à la fois toutes les valeurs par lesquelles le son est passé : pour peu qu'il s'agisse de sons du médium ou de l'aigu il y aura des centaines de cycles juxtaposés ; il sera difficile de saisir autre chose qu'une impression d'ensemble.

Si au contraire la tension de balayage varie du minimum au maximum en un 500^e de seconde et que le son ait cette même fréquence on n'aura qu'une image à la fois et l'on pourra en voir tous les détails.

Mais si le balayage se reproduit tous les 500^e de seconde il y aura superposition d'images plus ou moins semblables et en raison de la persistance rétinienne, l'œil ne pourra discerner qu'un réseau d'images qui paraîtront se mouvoir.

Si l'on veut que l'œil conserve la possibilité de distinguer entre les différentes courbes, il ne faut pas qu'elles se succèdent à moins d'un quinzième ou d'un dixième de seconde : c'est dire que l'on ne pourra pas faire apparaître sur l'écran du tube toutes les vibrations mais seulement une faible proportion, d'autant plus faible qu'il s'agira de sons plus aigus.

Comment obtenir cette sélection ? en ayant une tension de balayage qui reste fixe pendant 499-500^e de seconde et qui brutalement, au cours du dernier 500^e de seconde passe à la tension maxima, comme l'obturateur d'un appareil photographique immobile passe en un 500^e de seconde à sa position d'ouverture et redevient immobile.

Si l'on veut qu'il se produise une seule figure ou au plus deux ou trois à la fois côte à côte sur l'écran et que les suivantes se superposent à peu près, il est nécessaire qu'il existe un rapport entier entre les périodes d'immobilité du spot et ses périodes de déplacement la fréquence des sons devra donc commander celle de la base de temps : il devra y avoir synchronisation entre les deux pour que les images

successives partent toutes du même point de leur cycle, le point zéro en général.

Enfin, pour limiter la répétition des images à un chiffre qui ne produise pas une impression de mouvement continu sur l'œil, il faut que la base de temps ne puisse agir que 10 à 15 fois au plus par seconde, la durée de son action étant un rapport entier et très faible de la fréquence à examiner, et le début de son action coïncidant avec un point constant du cycle.

Une dernière condition est à remplir : pour faciliter la comparaison et l'étude mathématique des images, il est bon que le déplacement latéral du spot ait une vitesse uniforme, c'est-à-dire que la tension appliquée aux électrodes horizontales doit varier linéairement en fonction du temps.

En résumé le déplacement horizontal du spot doit se faire : à une vitesse linéaire uniforme pendant le temps qu'il dure, cette durée doit être celle d'un, deux ou trois cycles entiers;

Le déplacement doit commencer toujours au même point du cycle;

Il doit se reproduire au maximum dix ou quinze fois par seconde;

Sa trace doit rester visible moins d'un vingtième de seconde.

Cette dernière condition est remplie avec un écran à persistance moyenne ; un oscillateur à très basse fréquence (10 ou 15 périodes par seconde) contrôle la répétition des déplacements; un tube à décharge

gazeuse mis en circuit par l'oscillateur précédent tous les 10° ou 15° de seconde déclenche le mouvement dès que le premier cycle qui suit sa mise en action atteint une certaine valeur constante et prédéterminée ; la durée du déplacement est conditionnée par un multivibrateur qui se règle sur celle d'un ou deux cycles, trois au plus, en tous cas un nombre entier de cycles, de façon que si tous ceux représentés commencent au même point ils finissent tous en un autre même point ; la tension à variation uniforme destinée à produire un déplacement linéaire uniforme est obtenue par la décharge d'un condensateur à travers une lampe saturée.

Nous avons maintenant tous les dixièmes de seconde environ, une représentation visuelle d'un petit nombre de vibrations vocales dont nous pourrions analyser à loisir les particularités, mais n'y a-t-il pas moyen de simplifier encore cette analyse ?

Une image est actuellement effacée quand une autre vient prendre sa place, et c'est désirable parce qu'autrement les deux se superposeraient plus ou moins exactement et il serait difficile entre les traits qui s'entrecroiseraient de ne pas confondre le contour de l'une avec l'autre ; mais si au lieu de se superposer les deux images successives étaient juxtaposées on pourrait les comparer sans les confondre.

Pour cela nous doublons le nombre des images et celles-ci se succèdent tantôt à gauche, tantôt à droite de l'écran ; les images impaires à gauche et les

images paires (2^e, 4^e, etc.) à droite, juxtaposées, tandis que les images de même parité se succèdent sans se superposer, la persistance des images étant telle que deux se voient simultanément pendant que la troisième s'efface.

On obtient ainsi selon la façon dont on fixe l'image : avec un seul œil embrassant une ou deux images, une vision normale ; avec les deux yeux fixés chacun sur une image seulement, l'œil gauche sur celle de gauche, et le droit sur celle de droite, une sorte de vue en relief, stéréoscopique, qui s'anime du fait qu'au total il y a plus de vingt images à la seconde : les différences d'une courbe à la suivante sont nettement accusées par cet artifice.

On réalise actuellement industriellement des tubes cathodiques multitrace, contenant en somme, sous une même enveloppe, deux ou trois canons à électrons dont le faisceau électronique dûment modulé et dévié dans le plan horizontal et vertical par les électrodes habituelles vient s'inscrire sur un écran commun.

Malgré leur complication, ces tubes seraient capables de nous rendre service : on réserverait l'élément central à l'utilisation envisagée plus haut, tandis que l'élément inférieur, plaques horizontales réunies aux précédentes, verrait ses plaques verticales alimentées par une série de tops très brefs séparés par des intervalles de temps très courts mais connus : on aurait ainsi une sorte de chronométrage

automatique qui s'inscrirait en-dessous de l'image et indiquerait automatiquement en micro-secondes la durée des phénomènes.

Le troisième élément à son tour servirait à faire figurer — en comparaison immédiate avec l'image centrale — une image synthétique comprenant la fréquence fondamentale et un dosage des harmoniques de divers rangs : quand l'image analysée et l'image synthétique auront exactement même visage c'est que l'on aura exactement reconstruit le même son.

Pour cette synthèse, évidemment très délicate, il faut disposer d'un oscillateur fondamental étalonné en fréquences et en intensité, pour reproduire la fondamentale, et une série de multivibrateurs ou générateurs d'harmoniques capables de produire toute la série paire et impaire des harmoniques de cette fondamentale, chacun étant muni d'un atténuateur ou robinet de dosage, permettant d'ajouter à la fondamentale un certain pourcentage d'harmoniques de chaque ordre : c'est là un ensemble très complexe, facilement réalisable dans des versions simplifiées, mais dont la réalisation intégrale ne dépasse pas le cadre des possibilités.

Inutile de dire qu'on pourra voir un jour l'analyse d'un son se faire automatiquement, une série d'aiguilles indiquant immédiatement la « composition de ce son » en fondamentales et en pourcen-

tages de chaque harmonique et le déphasage de ces harmoniques par rapport à la fondamentale.

Mais en attendant on devra se contenter d'une méthode par tâtonnement : on prend un calque direct du son sur l'écran, par calcul et par tâtonnement on en fait la synthèse approximative, et l'on parachève en comparant l'image ainsi obtenue avec l'image même du son.

Nous avons donc le moyen actuellement de saisir les sons de la voix humaine à leur origine la plus intime au niveau des cordes vocales, de suivre les transformations qu'ils subissent à leur passage dans des espaces tantôt rétrécis et tantôt élargis, tantôt en présence de parois inertes, tantôt en présence de parois mobiles et vivantes, de les cueillir ensuite sur les lèvres, de les matérialiser sous une forme qui en permette l'analyse mathématique instantanée.

CHAPITRE IV

ANALYSE DE LA VOIX

Comme ces observations peuvent être poussées simultanément sur plusieurs points, il devient relativement facile de saisir les liens de causalité qui unissent deux phénomènes observés. On verra ainsi facilement un nasonnement par paralysie du voile affecter tels éléments du timbre, et l'on pourra mesurer le degré de ce trouble, en suivre la régression chiffrée. On verra ainsi s'inscrire les vibrations parasites produites par une bulle de salive, un corps étranger entraîné sur les cordes vocales, un polype de la région.

On pourra rapprocher chaque particularité anatomique des modifications qu'il entraîne dans le registre, l'intensité et le timbre de la voix ; on pourra voir à quoi tient la chaleur de la voix d'un Caruso, on pourra suivre la mue d'un collégien.

Mais en dehors des enseignements que cette étude comparée ne manquera pas de nous valoir, nous nous

en voudrions de passer sous silence son intérêt en quelque sorte thérapeutique dans la mutité et tout particulièrement chez les sourds-muets ; en raison de la possibilité que nous avons de matérialiser à leur vue un son, nous pouvons leur apprendre à lire ces sons exactement comme ils liraient un livre ou de la musique ; en raison de la possibilité que nous avons de faire apparaître simultanément sur l'écran actinique l'image de deux sons, il nous est possible d'envisager leur rééducation par la vue, en leur mettant sous les yeux le son type à reproduire et simultanément le produit de leur effort d'imitation. Comme nous pourrons connaître la cause des déficiences encore constatées, nous pourrons peut-être, au moyen d'excitations mécaniques ou électriques, réveiller la contracture synergique de certains muscles restés passifs et déclencher ainsi la formation de réflexes d'association.

Nous pourrons peut-être aussi apprendre à certains sourds à voir les sons qu'ils n'entendent plus par la comparaison avec les sons qu'ils savent encore émettre et dont ils connaissent la signification.

On voit donc quel intérêt ces études sont susceptibles d'avoir non seulement pour la physiologie et la pathologie du larynx et de la phonation, mais encore pour rendre à des êtres disgraciés par la nature en même temps que la fonction perdue le sentiment qu'ils ne sont pas des êtres inférieurs :

jusqu'ou aurait pu s'élever le génie d'un Bèethoven s'il avait pu voir ce qu'il n'entendait plus ?

Plus l'on pousse dans cette voie et plus on se rend compte que les méthodes d'examen suggérées pour l'étude de la phonation sont susceptibles d'extension au domaine de l'audition : nous ne pouvons guère pousser notre exploration au-delà du tympan, mais sur celui-ci nous pouvons par le même procédé du ralentissement stroboscopique, voir au ralenti l'action de vibrations dont nous pouvons au moyen d'oscillateurs électroniques doser l'intensité, la périodicité et le timbre, nous pouvons saisir les périodes propres du mécanisme des osselets, leurs vibrations, contrôler le fonctionnement de l'oreille moyenne toute entière, mesurer le degré d'acuité pour les sons de diverses fréquences, noter les limites de perception, vérifier l'identité entre les deux oreilles si nécessaire à la perception du relief sonore et à l'appréciation des distances, et néanmoins si souvent en défaut, étudier la transmission par voie osseuse sur les mêmes points et surtout la question de ses rapports normaux, pathologiques et de suppléance avec la transmission par voie aérienne.

Toutes ces recherches devront faire appel abondamment à la technique électronique pour fournir les méthodes de mesure et les étalons nécessaires aux comparaisons et aux généralisations. En thérapeutique comme en physiologie elles auront leur intérêt

en permettant de suivre l'action des traitements et de les graduer scientifiquement.

Mais du fait qu'il s'agit de manifestations centripètes et non plus centrifuges, il entrera dans leur étude un très important élément subjectif qui les rend moins propres à l'analyse mathématique et rigoureuse que les manifestations objectives et centrifuges de la phonation.

CHAPITRE V

SYNTHESE DE LA VOIX

Si les nouvelles méthodes d'exploration que nous avons envisagées ne seront peut-être utilisées au début dans un souci d'actualité que pour étudier chez un Anglais la production du fameux son *th* afin de le rendre accessible à des voix françaises, ou réciproquement pour connaître l'origine du son *u* français et l'enseigner aux Anglais, il est possible de leur voir un but plus lointain et d'intérêt plus universel.

L'analyse de la voix humaine et la résolution de chaque son en formules mathématiques permet d'envisager une notation nouvelle de la parole et d'ailleurs aussi de la musique : cette notation dont il resté d'ailleurs à trouver la représentation graphique abrégée, la sténographie en quelque sorte, n'aurait plus le facteur conventionnel et arbitraire des notations et écritures actuellement en usage : elle aurait ainsi un caractère d'universalité qui la rendrait intelligible à tous.

La photographie d'un son ou d'une parole, résolue en ses quelques éléments simples essentiels, pourrait

figurer dans un dictionnaire phonétique qui comprendrait peut-être au départ autant de caractères qu'un dictionnaire chinois, mais qui par la possibilité de sa décomposition et du classement des éléments ainsi décomposés, donnerait un alphabet de caractère absolument universel.

A cette analyse des sons de la voix humaine correspondra naturellement une synthèse possible : cette synthèse est possible par maints procédés. En attendant la création d'un véritable larynx artificiel qui comporterait les divers éléments schématiques d'un larynx véritable : soufflerie, régulateur de débit, système vibratoire, résonnateurs annexes, etc., c'est toujours à des procédés électroniques que l'on fait appel.

Le film sonore et la cellule photoélectrique nous ont déjà accoutumés à la reproduction des sons : mais avec une paire de ciseaux et de la colle, en découpant puis en réassemblant les sons dans l'ordre voulu on peut écrire une phrase musicale ou parlée que la cellule photoélectrique lira et nous fera entendre par l'intermédiaire de ses amplificateurs et hauts-parleurs : on pourrait ainsi faire prononcer des paroles qui ne l'ont jamais été, mais cette synthèse n'aurait guère qu'un intérêt de curiosité.

Au lieu de nous adresser avec nos ciseaux à un lexique sonore, nous pouvons avec notre crayon tracer le groupe de courbes figuratives d'un son, le photographier et le passer devant la cellule photo-

électrique : on peut ainsi composer une langue ou une musique totalement synthétiques.

Mais cette méthode n'est susceptible que d'un très faible rendement, et la synthèse de la voix humaine réalisée à l'Exposition Universelle de New-York comme pour bien montrer que la question est actuelle et non pas anticipation à la Jules Verne, fait appel à d'autres méthodes : les jeunes muettes qui faisaient la démonstration de l'appareil parlaient, encore que très imparfaitement, avec l'intermédiaire de leurs doigts, un peu comme dans la méthode de l'Abbé de l'Épée, mais leurs interlocuteurs n'avaient pas besoin de connaître le langage des sourds-muets, car ils entendaient une voix artificielle.

Une série d'oscillateurs électriques mettaient par l'intermédiaire de claviers et de touches à la disposition du sujet une série de sons élémentaires, dont la combinaison et la succession permettaient de reproduire la parole humaine : quelques dispositifs accessoires permettaient de régler la force, l'intonation et le timbre. Le tout nécessite évidemment un long apprentissage et une grande dextérité, mais étant donné la nouveauté de la méthode, elle est certainement susceptible de simplifications et de perfectionnements.

Du moment que cette synthèse est réalisée au moins expérimentalement l'analyse de la phonation humaine à laquelle nous avons tenté d'esquisser des méthodes et des moyens peut paraître perdre de

l'intérêt : il n'en est rien cependant et les essais de synthèse ont au contraire montré la nécessité et l'importance de cette analyse préalable si l'on tenait à donner à la voix synthétique un caractère humain, à lui donner un timbre, des intonations, une personnalité.

Le jour où quelqu'un trouvera le moyen de mesurer, d'enregistrer et de représenter les influx nerveux captés il sera relativement facile de remonter jusqu'à l'origine cérébrale de chaque son, de saisir les règles et le mécanisme de leur association, et d'attaquer ainsi de proche en proche le fonctionnement du cerveau humain et de la pensée humaine : il nous paraît logique d'entreprendre ce grand dessein en prenant pour base la parole, puisqu'en effet cela semble être la faculté dévolue à l'homme seul de tous les animaux et que c'est elle qui a assuré sa prééminence sur la Terre.

CONCLUSIONS

En s'aidant d'une instrumentation nouvelle et assez complexe dont nous pensons avoir suggéré des réalisations possibles, en s'aidant disons-nous, de ces instruments que nous avons dénommés :

le Stroboscope électronique à commande et parasyntonisme automatique ;

l'Endoperiscope laryngien ;

l'Inhalateur à fumée,

il doit être possible de saisir plus intimement le mécanisme de la production des sons humains et animaux.

Dans une autre étape, en combinant les résultats de cette étude avec l'analyse qualitative et quantitative de la voix articulée au moyen d'un « Phonoscope » comprenant un tube cathodique multitrace associé à un oscillateur électronique étalon pur, gradué en fréquences et en intensités d'une part, et à un analyseur d'harmoniques d'autre part, on pourra poser les bases scientifiques d'une notation de la voix humaine — fondement d'une écriture universelle et d'un langage universel — et poursuivre la synthèse de la parole humaine, déjà frôlée expérimentalement.

Enfin, pour couronner cette étude, on pourra peut-être s'attaquer avec quelque chance de succès au démontage de ce mécanisme mystérieux qu'est la pensée humaine, en partant d'une connaissance mathématique de ses manifestations orales, et en remontant de là le cours de ses influx nerveux : si l'on admet que la parole constitue la différence la plus caractéristique entre l'homme et les bêtes, et sa prérogative essentielle, il nous semble que c'est par là, et par là seulement que l'on pourra aborder au sublime savoir.

VU : *Le Président de Thèse,*
LEMAITRE.

VU : *Le Doyen,*
TIFFENEAU.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :
Le Recteur de l'Académie de Paris,
G. ROUSSY.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	11
CHAPITRE I : STROBOSCOPE	13
CHAPITRE II : ENDOPÉRISCOPE	30
CHAPITRE III : PHONOSCOPE	35
CHAPITRE IV : ANALYSE DE LA VOIX	45
CHAPITRE V : SYNTHÈSE DE LA VOIX	49
CONCLUSION	53

IMPRIMERIE SPÉCIALE DES ÉDITIONS LEGRAND
